

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 03-270665

(43)Date of publication of application : 02.12.1991

(51)Int.Cl.

H02K 21/14  
H02K 11/00

(21)Application number : 02-064361

(71)Applicant : MEIDENSHA CORP

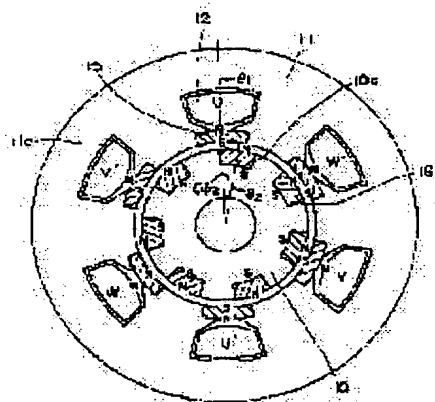
(22)Date of filing : 16.03.1990

(72)Inventor : ISHIZAKI AKIRA

**(54) PERMANENT MAGNET ROTATING MACHINE****(57)Abstract:**

**PURPOSE:** To suppress pulsation of torque and to obtain a stabilized steady torque by containing three-phase windings in the slots of a stator core and arranging permanent magnets at least one of all slots of the stator core or all slots of rotor core.

**CONSTITUTION:** A stator 11 is provided with slots 11a of the number of tooth  $Z1=6$  and applied with three-phase windings U, V, W so that a rotating field is produced. A permanent magnet 15 is buried at the inlet of the slot 11a. A rotor 10 is provided with slots 10c of the number of tooth  $Z2=7$  and a permanent magnet 16 is buried therein. The permanent magnets 15, 16 are magnetized so that all magnets have the same polarity in the radial direction toward the center. The numbers of slots  $Z1, Z2$  are set to satisfy a relation  $Z2=Z1 \pm P$ , where  $P$  is the number of pole pair. Consequently, stabilized steady torque is obtained and smooth speed control or precise position control is realized.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

平3-270665

⑮ Int.Cl.<sup>5</sup>

H 02 K 21/14  
11/00

識別記号

M  
C  
K

庁内整理番号

6435-5H  
6435-5H  
6435-5H

⑬ 公開 平成3年(1991)12月2日

審査請求 未請求 請求項の数 4 (全10頁)

⑭ 発明の名称 永久磁石回転機

⑯ 特 願 平2-64361

⑰ 出 願 平2(1990)3月16日

⑱ 発 明 者 石 崎 彰 新潟県長岡市中島6丁目9番22号  
⑲ 出 願 人 株式会社明電舎 東京都品川区大崎2丁目1番17号  
⑳ 代 理 人 弁理士 光石 英俊 外1名

明 細 書

1. 発明の名称

永久磁石回転機

2. 特許請求の範囲

- (1) スロット数  $Z_1$  を有する固定子鉄心と、等ピッチにてスロット数  $Z_2$  を有する回転子鉄心とを、 $P$  を極対数として  $Z_2 = Z_1 + P$ 、または  $Z_2 = Z_1 - P$  なる関係に形成し、

上記固定子鉄心のスロットには極対数  $P$  の三相巻線が納められ、

上記回転子鉄心を軸方向に沿って二つに分けたブロックにて固定子鉄心に対向させ、この二つのブロックとおしを回転子スロットピッチの1/2だけ円周方向に相互にずれた位置に軸に固定し、

上記固定子鉄心及び回転子鉄心の少なくとも一方の全スロットに永久磁石を埋め込み、ブロック毎に全磁石を同一方向に着磁するとともに、双方のブロックでは磁石の極性が互

に逆になるように着磁することを特徴とする永久磁石回転機。

- (2) スロット数  $Z_1$  を有する固定子鉄心と等ピッチにてスロット数  $Z_2$  を有する回転子鉄心とを  $P$  を極対数として  $Z_2 = Z_1 + P$  または  $Z_2 = Z_1 - P$  なる関係に形成し、

上記固定子鉄心のスロットには極対数  $P$  の3相巻線が納められ、

上記回転子鉄心の全スロット及び回転鉄心の全スロットの少なくとも一方の全スロットに永久磁石を埋め込み、全磁石を同一方向に着磁するとともに、永久磁石により発生した磁束の一部が、軸受部を過らない構造としたことを特徴とする永久磁石回転機。

- (3) 固定子鉄心の固定子歯のギャップ面に小スロットを備え、この小スロットと巻線が収められたスロットとを加えて全スロットとしてスロット数  $Z_1$  としたことを特徴とする請求項

(1)又は(2)の永久磁石回転機。

- (4) 検出した回転子の位置の関数として電流位

相を制御すると共に、必要なトルクを発生するように電流振幅値を制御することを特徴とする請求項(1)、(2)又は(3)の永久磁石回転機。

### 3. 発明の詳細な説明

#### A. 産業上の利用分野

本発明は、従来のステッピングモータやバーニアモータの性能を改善し、大きくかつ安定した定常トルクを得る永久磁石電動機に関する。

#### B. 発明の概要

本発明は、ステッピングモータやバーニアモータの短所を補うもので、

固定子鉄心スロット数  $Z_1$ 、回転子鉄心スロット数  $Z_2$ 、及び極対数  $P$  の場合  $Z_2 = Z_1 + P$  又は  $Z_2 = Z_1 - P$  なる関係に構成し、固定子鉄心スロットに三相巻線を納め、上記固定子鉄心の全スロット及び回転子鉄心の全スロットの少なくとも一方に永久磁石を配置し、これらの全磁石を同一方向に着磁することを満

て、ブラケット部に非磁性体の部分を設けて、上記の一定の磁位差による磁束が軸受部と通らないようにしたものである。

#### C. 従来の技術とその課題

従来から種々のモータがあり、そのひとつにいわゆるバーニアモータがある。このバーニアモータは、第9図に示すように固定子鉄心1と回転子鉄心2とがあり、固定子鉄心1には複数個のスロット(スロット数  $Z_1$  で第9図では12)が設けられると共に回転子鉄心2にも複数個のスロット(スロット数  $Z_2$  で第9図では10)が設けられており、更に固定子鉄心には通常の交流機と同様の3相巻線(図示省略)が施されている構造を有する。

しかも、この固定子鉄心1のスロット数  $Z_1$  と回転子鉄心2のスロット数  $Z_2$  とを  $Z_2 - Z_1 = \pm P$  (ここで  $P$  は固定子3相巻線の極数) という関係に選定した場合、回転速度は  $120 f / Z_2$  (rpm) となり、回転角速度  $\omega_r$  と角

本とし、

また、固定子鉄心の固定子歯に小スロットを備える場合にはこの小スロットをスロット数  $Z_1$  に含め、更には、回転子位置を検出してこの位置に基づき固定子電流の位相を制御すると共に、この固定子電流の振幅を制御して必要なトルクを発生することにより、少ない電流であっても高トルクが得られかつ安定して定常トルクを得るようにしたものである。

しかも、回転子鉄心を軸方向に沿い二つのブロックに分けてこの二つのブロックとおしを回転子スロットピッチの  $1/2$  だけ円周方向にずらし、双方のブロックでは磁石の極性が互に逆になるように着磁することによって、永久磁石のために、固定子鉄心外径と回転子鉄心内径との間に一定の磁位差を生じ、このため通常の構造では、磁束が軸受部を過って、軸受に有害な現象を生ずるおそれを防止して、上記の一定の磁位差による磁束を両ブロック間に循環させるようにするか、他の方法とし

周波数  $\omega$  とで表わすと  $\omega_r = 2\omega / Z_2$  となることが判明している。

したがって、角周波数  $\omega$  や回転子鉄心2のスロット数  $Z_2$  に依存して回転速度がきまる。

ところが、このバーニアモータにあっては、トルク脈動が必ず生じており、更に回転子巻線が存在せず、負荷の慣性に打勝って同期に入る最大トルクすなわち引入れトルクが小さく、また回転子の位置ずれに伴う脱出トルクも小さいという問題が生じている。

一方、他のものとしてステッピングモータがある。このステッピングモータは、第10図に示すように固定子鉄心3とリラクタンس形の回転子鉄心4とがあり、各固定子鉄心3にはそれぞれ独立して固定子コイル5が巻回される構造であって、第10図に示す例では軸方向にI、II、III相が配置されている構造である。

そして、各固定子コイルを適宜選択してパルス信号を流すことにより、固定子鉄心3と

回転子鉄心4(第10図(b)ではI相のみ表示)との間の歯間に発生する磁気吸引力を利用して回転を行なわしめている。

ところが、このスタッピングモータにあっては、構造上トルク脈動が必ず生じ、更に磁気吸引力により駆動させる関係上回転速度が上昇すると共にトルクも急激に低下するという問題があり、安定した定常トルクが得られない。

本発明は、上述の問題に鑑み、トルク脈動を抑えて大きくかつ安定した定常トルクを得る永久磁石回転機の提供を目的とする。

#### D. 課題を解決するための手段

上述の目的を達成する本発明は、スロット数 $Z_1$ を有する固定子鉄心と等ピッチにてスロット数 $Z_2$ を有する回転子鉄心とをPを極対数として $Z_2 = Z_1 + P$ または $Z_2 = Z_1 - P$ なる関係に形成し、上記固定子鉄心のスロットには3相巻線が納められ、上記固定子鉄心の全ス

受に有害な現象を生ずるおそれを防止して、上記の一定の磁位差による磁束を両ブロック間に循環させるようにするか、他の方法として、ブラケット部に非磁性体の部分を設けて、上記の一定の磁位差による磁束が軸受部と通らないようにしたものである。

#### E. 作 用

回転子又は固定子の少なくとも一方の全スロットに永久磁石を配置することにより駆動トルクを強め、低電流にて安定した高トルクが得られる。

#### F. 実施例

ここで、第1図ないし第8図を参照して本発明の実施例を原理と共に説明する。第1図は回転子10及び固定子11を示している。

第1図において、固定子11には、その内周に等ピッチのスロット11aが形成され、その数 $Z_1$ (第1図では6)である。このスロ

ット及び回転子鉄心の全スロットの全スロットの少なくとも一方に永久磁石を配置して、全自作を同一方向に着磁することを基本とし、

また、上述の構造において、固定子鉄心の固定子歯のギャップ面に小スロットを備え、この小スロットと巻線が収められたスロットとを加えて全スロットとしてスロット数 $Z_1$ としたことを特徴とし、

更に、検出した回転子の位置の関数として電流位相を制御すると共に、必要なトルクを発生するように電流振幅値を制御することを特徴とする。

更に、回転子鉄心を軸方向に沿い二つのブロックに分けてこの二つのブロックどおしを回転子スロットピッチの $\frac{1}{2}$ だけ円周方向にずらし、双方のブロックでは磁石の極性が互に逆になるように着磁することによって、永久磁石のために、固定子鉄心外周と回転子鉄心内周との間に一定の磁位差を生じ、このため通常の構造では、磁束が軸受部を過って、軸

ット11aには三相巻線12であるU、V、Wが施され、2P(Pは極対数、第1図ではP=1)の回転磁界が生ずるようになっている。更に、スロット11aの入口部には永久磁石15が埋め込まれている。

他方、回転子10には、その外周に等ピッチのスロット10cを有し、その数 $Z_2$ (第1図では7)となっている。そして、この回転子10の全スロット10cにも永久磁石16が埋め込まれている。

これらの永久磁石15と16は第1図に示すように半径方向に中心に向かって、すべての磁石が同一極性を持つように着磁される。

そして、これらスロット数 $Z_1$ 、 $Z_2$ とは、

$$Z_2 = Z_1 + P \text{ 又は } Z_2 = Z_1 - P \quad \dots (1)$$

なる関係を有して形成されている(第1図の場合は $Z_2 = Z_1 + P$ )。

各磁石によって生ずる磁束は、ギャップを介して磁石と歯の部分で閉じた磁路を構成するた、固定子鉄心の外周と固定子鉄心内周と

の間の電動機の構造では、この磁位差によって固定子鉄心—フレーム—ブラケット—軸受部—軸—固定鉄心を磁路とする磁束を生じ、軸受に有害な現象を生ずるおそれがある。これを防ぐために二つの方法が考案されている。

その一つの実施例の回転子10は、第2図に示すように軸方向に沿って二つのブロック10a、10bに分割されていて、ブロック10aのギャップ面であるA—B面とブロック10bのギャップ面であるC—D面とは、互いに異なる方向に磁束が通るようにA—B面とC—D面では、スロットに納められた永久磁石15、16の着磁方向を互に逆方向とする。このため上記一定の磁位差による磁束に対してはブロック10a—固定子鉄心11—ブロック10b—軸—ブロック10aという矢印のような閉磁路が形成されるので、軸受部に磁束が通ることを防止できる。

更に、ブロック10aとブロック10bとは、双方のスロット位置が $\frac{1}{2}$ スロットピッチ

だけ円周方向に相互にずれた関係を持つように軸14に固定されている。

いま、ギャップ面ABについて考えるに、固定子スロット11aの永久磁石15は全てギャップ面にてS極に着磁された状態では、固定子スロット11a間の歯部はN極となり、固定子内周全体では永久磁石15と隣接する歯とによるNS極の組合せにて計2Z<sub>1</sub>極の磁極が構成される。

一方、回転子10のスロット10cでの永久磁石16はギャップ面が全てN極に着磁されていることによって固定子11の永久磁石15とは、半径方向に同一方向の磁束を生ずる。この場合、回転子10のスロット10cに隣接する歯はS極となって、回転子外周全体では永久磁石16と隣接する歯によるNS極の組合せにて計2Z<sub>2</sub>極の磁極が構成される。

このような構造において、スロット11a、10cに納められた永久磁石15、16によって生ずる起磁力分布の2Z<sub>1</sub>極及び2Z<sub>2</sub>極の基

本波成分のピーク値をそれぞれF<sub>11</sub>及びF<sub>22</sub>とする。

ここで固定子巻線12の一つの極における第1相すなわちU相の巻線群の中央(第1図の場合は1極1相のスロット数が1つであるのでU相のスロットの中央)を原点として、空間角で表された固定子座標を $\theta_1$ とし、 $\theta_2$ は $t=0$ の瞬間に固定子座標 $\theta_1$ の原点にもっとも近いスロット10cの中央を原点として空間角で表された回転子上にとられた座標である。したがって $\theta_1$ と $\theta_2$ との関係は、次式(2)となる。

$$\theta_2 = \theta_1 - f \phi_p - \omega_r t \quad \dots (2)$$

ここで $\omega_r$ は回転子10の回転角速度、 $\phi_p$ は空間角で表した回転子10のスロットピッチ、 $f \phi_p$ は $t=0$ の時の $\theta_1$ の原点と $\theta_2$ の原点との空間角であるので、 $f$ は $-0.5 < f \leq 0.5$ となる。すなわち $t=0$ では $\theta_1 - \theta_2 = f \phi_p$ となり、回転しはじめると $t$ に応じて $\omega_r t$ だけ $\theta_1$ と $\theta_2$ の両原点間が広がることになる。

かかる座標 $\theta_1, \theta_2$ を用いてギャップパーミアンスを表わすと次式(3)となる。

$$\sum_{\alpha} \sum_{\gamma} P_{\alpha\gamma} \cos [\alpha Z_1 \theta_1 + \gamma Z_2 \theta_2] \quad \dots (3)$$

ここで、 $\alpha, \gamma$ は任意の整数である。

また、固定子11の永久磁石15によって生ずる基本波成分の起磁力は次式(4)である。

$$F_{11} \cos (Z_1 \theta_1) \quad \dots (4)$$

よって、この起磁力によって生ずる磁束密度は(4)式と(3)式との積となり、ハーモニックパーミアンスを用い、また(2)式の関係を代入して $\theta_2$ を消去するように整理し、空間分布として2P極をもつ磁束密度は次式(5)として求められる。

$$F_{11} \cdot P \cdot \frac{Z_1}{1-P} \cos [P \theta_1 - Z_2 \omega_r t - Z_2 f \phi_p] \quad \dots (5)$$

同様にして回転子10の永久磁石16によって生ずる起磁力は次式(6)となる。

$$F_{22} \cos (Z_2 \theta_2) \quad \dots (6)$$

したがって、この起磁力によって生ずる2P極の磁束密度は次式(7)となって(5)式と同じ

形となる。

$$F_{a2} \cdot P \frac{Z_2}{1 - \frac{Z_2}{P}} \propto [P\theta_1 - Z_2\omega_m t - Z_2\phi_2] \quad \dots(7)$$

これら、2P極の磁束密度(5)、(7)式は全く同一の形となることが判明し、これらをまとめると、回転子10、固定子11の全永久磁石によって生ずる磁束密度は次式(8)(9)となる。

$$B_a \propto [P\theta_1 - Z_2\omega_m t - Z_2\phi_2] \quad \dots(8)$$

$$B_m = F_{a1} \cdot P \frac{Z_1 + P_{m2}P}{1 - \frac{Z_1}{P} - \frac{Z_2}{P}} \quad \dots(9)$$

一方、固定子巻線12に3相交流を流した場合の基本波起磁力は次式(10)となる。

$$F_1 = \frac{3N_1 k_{u1}}{2\pi P} I_{1m} \sin [P\theta_1 - \omega t] \quad \dots(10)$$

ここで、 $I_1$ は電流実効値、 $\omega$ は角周波数、 $N_1$ は1相の直列導体数、 $k_{u1}$ は巻線係数である。

(8)式と(10)式とは空間分布の極数がいずれも2P極で同一であるので、両者の間にトルクを生じ $Z_2 = Z_1 + P$ の場合次式(11)となる。

$$T = KB_m I_{1m} \sin [(Z_2\omega_m - \omega)t - \phi_2] \quad \dots(11)$$

なる。

したがって、トルクの式(11)において、 $\sin$ の項は次式(12)のように符号が逆になる。

$$\sin Z_2 (\phi + \frac{1}{2}) \phi_2 = -\sin Z_2 \phi_2 \quad \dots(12)$$

一方すべての起磁力の符号が逆になるため、(10)式から $B_m$ も逆符号となり、CD面でのトルクTはAB面でのトルクと全く同じ式(11)のトルクが得られる。よってAB面とCD面とで2倍のトルクが得られることになる。以上の結果、第1図、第2図に示す電動機としては、電源角周波数 $\omega/Z_2$ の速度で回転する同期電動機として使用できる。

この場合、同期電動機の始動、引入れ、脱調等の問題が生ずることとなるが、これらの問題のない制御方式として、回転子位置を検出して $\phi_2$ が指令値を保つように固定子電流を制御することが考えられる。この場合、 $-0.5 < \phi \leq 0.5$ の範囲上 $-\pi < \delta \leq \pi$ の範囲にて変化する。したがって $\delta$ が正の時は電動機運転で $\delta = \pi/2$ にて最大正トルク、 $\delta$

ここでKは設計諸元から算出される定数である。

この(11)式より $Z_2\omega_m - \omega = 0$ すなわち

$$\omega_m = \omega / Z_2 \quad \dots(13)$$

の回転速度の状態にて脈動トルクが除かれて定常トルクが得られ、その値は(13)式となる。

$$T_m = KB_m I_{1m} \sin (\phi_2) \quad \dots(14)$$

また、 $Z_2 = Z_1 - P$ の場合には $\omega_m = -\omega/Z_2$ の回転速度の状態にて、換言すれば、回転磁界と反対方向に $\omega/Z_2$ の角速度で回転するときに定常トルクが得られ、その値は(14)式と同一となる。

以上の説明は回転子のブロックのAB面についての解析であるが、CD面を着目すると、まずすべての起磁力 $F_{a1}$ 、 $F_{a2}$ 、の符号が逆になり、更にAB面とCD面とはスロット位置がスロットピッチの $1/2$ だけずれているので、 $t=0$ の時の $\theta_1$ の原点と $\theta_2$ の原点との空間角 $\phi_2$ はCD面では $(\phi + 1/2)\phi_2$ となり、 $Z_2\phi_2 = 2\pi$ であることから $Z_2(\phi + 1/2)\phi_2 = Z_2\phi_2 + \pi$ と

が負の時は発電機運転で $\delta = -\pi/2$ にて最大負トルクとなり、この負トルクは減速時の制動トルクとして利用できる。

$\delta$ の指令値 $\delta^*$ を保ちながら指定回転速度 $\omega_m$ にて運転する場合の制御を次に述べる。

$t=0$ の瞬間に $\theta_1$ の原点に最も近いスロットの中央位置の座標を $\theta_2$ とした場合、前掲の $\omega_m = \omega/Z_2$ の条件を満足し、定常トルクを発生している時次式を得る。

$$\theta_2 = \omega_m t + \phi_2 = \omega t / Z_2 + \phi_2 \quad \dots(15)$$

このため $\omega t = (Z_2\theta_2 - \phi_2)$ を得る。

従って $\delta^*$ を保ちながら $\omega_m$ なる角速度で回転させるためには、回転子スロットの中央の位置 $\theta_2$ を検出して次式(16)を計算する。

$$(\omega t)^* = (Z_2\theta_2 - \phi_2) \quad \dots(16)$$

ついで、(11)式となるよう各相電流の位相を制御する。

$$i_u = I_{1m} \cos [(\omega t)^*]$$

$$i_v = I_{1m} \cos [(\omega t)^* - 2/3\pi]$$

$$i_w = I_{1m} \cos [(\omega t)^* - 4/3\pi] \quad \dots(17)$$

一方電流の振幅値  $I_{1u}$  については、 $\omega_u$  の指令値  $\omega_u^*$  と実際の  $\omega_u$  とを比較し、その偏差を零とするように  $I_{1u}$  の指令値  $I_{1u}^*$  を与える。このようにして、電動機に供給する各相電流の指令値  $i_{1u}^*$ 、 $i_{1v}^*$ 、 $i_{1w}^*$  を与えることができるので、この指令値通りの電流を流すよう電流制御形インバータを制御すれば、電動機を常に  $\omega_u$  で駆動することができる。

第3図にて回路を具体化するに、電流制御形インバータ20により電動機21が制御されるが、この電動機21に備えられるロータリーエンコーダ等の位置検出器22では、回転子位置  $\theta_s$  を示す信号が出力される。この回転子位置  $\theta_s$  は、電流位相計算回路23にて負荷角指令  $\delta^*$  を加えて演算され、前述の(4)式に基づいて  $(\omega t)^*$  計算し、二つのROMテーブルから  $\cos[(\omega t)^*]$  及び  $\cos[(\omega t)^* - 4/3\pi]$  を得る。なお、この  $\delta^*$  は加速時には  $\pi/2$ 、減速時には  $-\pi/2$  に設定する。一方、位置検出器からのパルス信号は、F/V変換器24にて

回転角速度  $\omega_u$  に変換される。このF/V変換器24の出力  $\omega_u$  と角速度指令  $\omega_u^*$  とは偏差がとられ、ついでPI制御器25を介して電流指令  $I_{1u}^*$  が決定される。この結果、 $\cos[(\omega t)^*]$  及び  $\cos[(\omega t)^* - 4/3\pi]$  をマルチプライング形D/A変換器26にてD/A変換し、これに  $I_{1u}^*$  を乗ることにより  $i_{1u}^*$ 、 $i_{1v}^*$  が得られる。そして  $i_{1u}^* + i_{1v}^* + i_{1w}^* = 0$  の関係を用いて、 $i_{1w}^*$  演算回路27からV相電流指令値とおりの電流を電動機21に供給するように電圧形インバータ20が制御される。

また、トルクTの式(3)は周波数に無関係であるので、PI制御器の出力側にリミッタ28を設け、加速及び減速時には、一定電流値を流すことによって一定トルクを発生させることができる。

更にこの実施例ではヒステリシスコンパレータ29によって、 $(\omega_u^* - \omega_u)$  の符号の正負に従って、これが正の場合には  $\delta^*$  の値も正として電動機運転で加速し、逆に負の場合に

は  $\delta^*$  の値も負として発電機運転で回生制動を行うようになっている。

以上の説明は、 $Z_2 = Z_1 + P$  の場合につき述べてきたが、 $Z_2 = Z_1 - P$  の場合、(4)式が次のようになる。

$$-(\omega t)^* = (Z_2 \theta_s - \delta^*) \quad \dots (4)$$

となるのでこの値を(4)式に代入すれば  $Z_2 = Z_1 + P$  の場合と同様に各相の電流の指令値を得ることができるが相回転は逆になる。すなわち  $Z_2 + P$  の場合と  $Z_2 - P$  の場合とは固定市電流による回転磁界の方向が逆になる。

以上は第1実施例であるが、第2実施例は上記のように回転子鉄心を二つのブロックに分けることなく、一ブロックのみとして、第4図のようにブラケット18の内周に非磁生部19を設けることによって、軸受部20を磁束が通ることを防ぐことができる。この場合固定子鉄心11—ブラケット18—軸受カバー21—軸14—回転子鉄心10—固定子鉄心10—固定子鉄心11という磁路を通る

ことになる。

以上電動機としての説明を行ってきたが  $\delta$  を負の値に保ち、軸に機械的動力を外部から供給することによって、発電機としても運転できる。

これまでの説明は第1図のように少数のスロットの組合せで説明してきたが、 $\omega_u = \omega/Z_2$  式からわかるように回転角速度として低速を必要とする場合にはスロット数をよやせばよいことがわかる。この場合  $Z_1$  と  $Z_2$  とは(1)式の関係があるので第1図のような構造で  $Z_2$  を増加するには限界がある。そこで第5図のように、巻線の入っているスロット以外に歯部に小スロットを設け、両者の和の全スロット数を  $Z_1$  としたときに、この全スロット数  $Z_1$  に対して(1)式が成り立つように  $Z_2$  を選べばよいので、このような構造では  $Z_2$  を充分大きく出来、極低速を容易に得ることができる。

第5図はこの変形した電動機のギャップ部を示しており固定子鉄心11の内周側には3



相巻線が挿入される巻線スロット11aが形成され、この巻線スロット11a間の歯11bの内周側にも回転子と対向する小スロット11cが形成されている。そして、この巻線スロット11aの入口部と小スロット11cとは同一幅を有している。この場合、全スロット数を $Z_1$ とすれば、固定子鉄心11のスロットピッチ $\phi_1$ は $2\pi/Z_1$ の等ピッチとなっている。なお、巻線スロット11aの入口部と小スロット11cとは運転時のトルクリップルを低減するため同一幅とすることは良いが、特にこれに限定されない。小スロット及び巻線スロットの入口には永久磁石15が埋め込まれている。

他方、回転子鉄心10の外周側にもスロット数 $Z_2$ のスロット10cが形成され、このスロット10cのスロットピッチ $\phi_2$ は $2\pi/Z_2$ の等ピッチとなっている。これらの回転子のスロットにも永久磁石16が埋め込まれている。

$$f \cdot 2\pi - \phi = \pi/2$$

の時であるので

$$f = 1/4 + \phi/2\pi$$

の時にピーク値をとる。従って $\phi = 0$ の時には $f = 1/4$ の時にピーク値をとる正弦波となるが、 $\phi$ の値が正の時にはピーク値は $\phi/2\pi$ に相当するだけ右方へ移動し、 $\phi$ の値が負の時には $\phi/2\pi$ に相当するだけ左方へ移動する。 $f$ が $-1/2$ から $+1/2$ までの範囲が回転子の1スロットピッチで、 $f = 0$ がスロットの中央、 $f = 1/2$ が両隣の歯の中央に相当するので、 $\phi$ の値を $-3\pi/2$ から $+\pi/2$ まで変化させることによって、一つのスロット内の任意の位置が $\theta_1$ の原点の位置に来たときに、正のピークトルクを発生させることができる。またピークトルクの値は $I_m$ に比例するので、 $\phi$ と $I_m$ とを制御することによって、任意の位置で負荷トルクに見合ったトルクを発生させて、その位置で静止させることが出来る。

このような考え方の位置制御回路を第3図

そして、スロット数 $Z_1$ と $Z_2$ との関係は、 $Z_2 - Z_1 = P$ 又は $Z_1 - Z_2 = P$ となるように選定されている。

次に静止時トルクについて述べる。この電動機の3相巻線に、 $120^\circ$ ずつの位相差をもっているが、時間的には変化しない直流電流

$$i_u = I_m \cos \phi$$

$$i_v = I_m \cos (\phi - 2/3\pi)$$

$$i_w = I_m \cos (\phi - 4/3\pi) \quad \dots 四$$

を流したときに生ずるトルクは次式(四)となる。

$$T = K I_m B_m (f Z_2 \phi_2 - \phi) \quad \dots 四$$

ここで $\phi$ は第6図に示すように第1相の電流のピーク値からの位相角であって、 $\phi$ の値によって各相に流れる電流値が変化する。トルクは $I_m$ と $\phi$ と $f$ の関数であるが、ある一定の $I_m$ を考えた時、(四)式から明らかなように $Z_2 \phi_2 = 2\pi$ であることを考えると、 $f$ が $-1/2$ から $+1/2$ までの範囲で第7図の実線で示すように正弦波形に変化する。トルクがピーク値となるのは

に追加することによって、円滑かつ精密な位置制御が可能である。

この構造においてスロットに永久磁石を埋め込んだ場合、歯部を通る永久磁石の漏れ磁束を出来るだけ小さくしてギャップ面を通る磁束を大きくするためには、第8図(a)のように永久磁石16の寸法をスロットの幅方向の寸法Wに対して、スロットの深さ方向Dの寸法を小さくすることが望ましいが、スロットの深さ方向の寸法を深くする必要がある場合には第8図(b)のように永久磁石16とスロットとの間に非磁性板17をそう入することによって漏れ磁束を減らすことができる。

これまでの説明では、固定子鉄心外周と回転子鉄心内周との間に生ずる一定の磁位差のために軸受部に磁束が通り、これが軸受に障害を与えるのを防止するための二つの方法について述べてきたが、小形のものでは通常の構造のブラケットを用いても、軸受部を通る磁束が小さく、且つ回転速度の低い場合には、

軸受部に生ずる軸電圧が小さく軸受に障害を与えない場合がある。このような場合には第4図のようにブラケットに非磁性部を設ける必要はなく、通常の構造のブラケットを用いることができる。

また以上の説明は回転子が固定子の内側にある通常の構造について行なったが回転子を固定子の外周部に配設したアウトター・ロータ形とすることも出来る。

#### G. 発明の効果

以上説明したように本発明によれば、歯の間に働く電磁力によってトルクを得るステッピングモータとは異なり電機子電流と永久磁石のつくる二つの回転磁界の作用で生ずるトルクによって駆動する方式であるので、安定な定常トルクが得られ、円滑な速度制御や精密な位置制御が可能となる。また固定子と回転子のスロットパリアンス脈動によって生ずる磁界を活用する場合、永久磁石を用いて

いるので、リラクタンス形に比べて少ない電流で同一トルクを発生することが出来、効率の向上や寸法の小形化の点で効果がある。

殊に、本発明は固定子鉄心及び回転子鉄心の少なくとも一方の全スロットに永久磁石を備えているが、双方の全スロットに永久磁石を備えた場合にはその分トルクを加え合わせて増大させることができる。

永久磁石の技術進歩は目ざましく、コスト・パフォーマンスのよい磁石が開発されているので、高性能磁石の活用によってより大きな効果が期待できる。

#### 4. 図面の簡単な説明

第1図ないし第6図は本発明に係り、第1図は一実施例の簡略構成図、第2図は断面図、第3図は制御回路のブロック図、第4図は他の実施例の部分構成図、第5図は他の実施例構成図、第6図は電流ピーク値からの位相差を示す波形図、第7図は $\delta$ に対するトルク変化の波形図、

第8図は漏れ磁束を軽減する説明図、第9図はパーニアモータの一例の構造図、第10図(a)(b)はステッピングモータの説明図である。

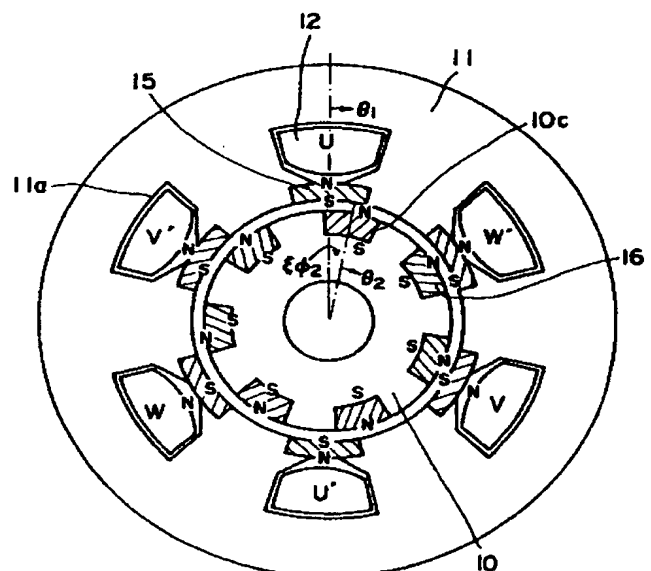
図 中、

- 10は回転子、
- 10a, 10bはブロック、
- 10c, 11a, 11cはスロット、
- 11は固定子、
- 13, 15, 16は永久磁石、
- 20は電流制御形インバータ、
- 21はモータ、
- 23は電流位相計算回路である。

特 許 出 願 人  
株式会社 明 電 合  
代 理 人  
弁 理 士 光 石 英 俊  
(他1名)

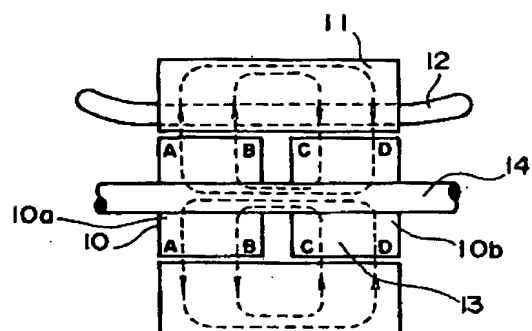
第 1 図

- 実施例



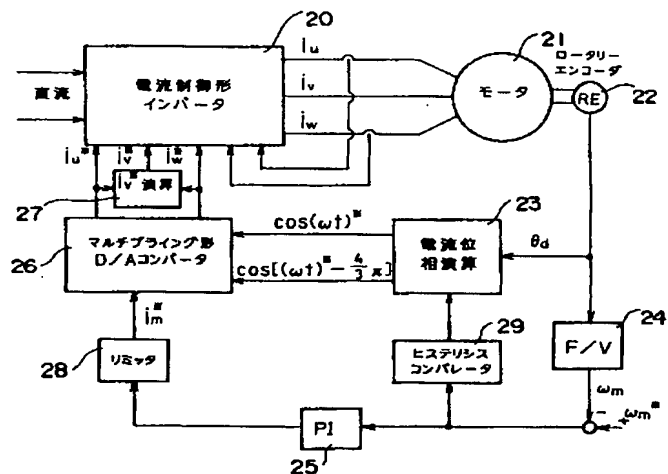
第 2 図

断面



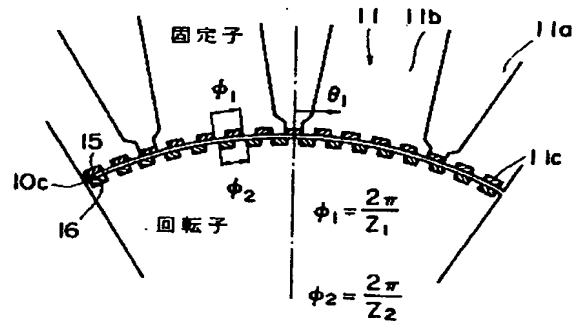
第 3 図

制御ブロック図



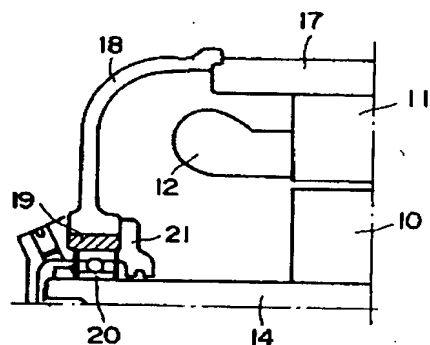
第 5 図

他の実施例構成

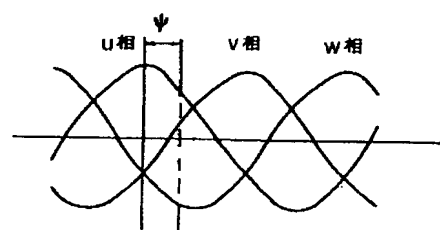


第 4 図

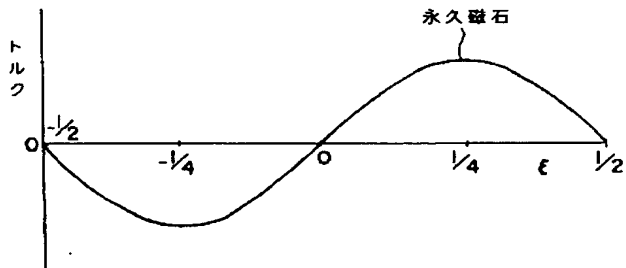
他の実施例構成



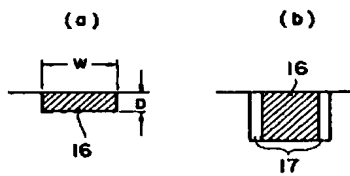
第 6 図



第 7 図

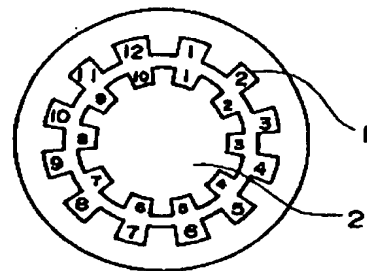


第 8 図



第 9 図

バーニアモータ



第 10 図

ステップモータ

